



Lívia Germano Roldan<sup>1</sup>, Edivaldo Luis de Souza<sup>1</sup>, José Geraldo Pena de Andrade<sup>12</sup>,  
Yuri Alexandre Meyer<sup>12#</sup> 

<sup>1</sup>Colégio Jandyra, Limeira, SP, Brasil.

<sup>2</sup>Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas, Limeira, SP, Brasil.

## Palavras-Chave

física  
química  
interdisciplinaridade  
glicose

## Resumo

O presente trabalho foi concebido na forma de uma Iniciação Científica Júnior. Trata-se de um experimento interdisciplinar entre química e física, de fácil reprodutibilidade e de baixo custo, que permitiu aos alunos aplicar o conceito de refração – comumente trabalhado no Ensino Médio como uma ferramenta eficaz para estimar a ordem de grandeza do volume molecular da glicose. Inicialmente, foram preparadas soluções de glicose de 0,1 mol/L, 0,4 mol/L e 0,7 mol/L. Para a determinação do índice de refração, foram utilizados um recipiente volumétrico (béquer) e um cano de PVC. Coloca-se o cano de PVC dentro do béquer e, em seguida, a solução de glicose. Nota-se que a imagem aparente do cano (parte imersa na solução) apresenta um tamanho maior. Com auxílio da câmera do celular, registra-se a imagem (para cada solução) e, depois, no PowerPoint (ou outro software equivalente), medem-se, com a ferramenta de setas, o diâmetro do cano que está fora do béquer e o diâmetro do cano imerso na solução. Para a determinação do índice de refração, foi demonstrado que basta fazer a divisão entre o valor do diâmetro da parte imersa pelo diâmetro obtido da parte que está fora do cano.

# Autor de correspondência: Yuri Alexandre Meyer. E-mail: [meyeryuri@gmail.com](mailto:meyeryuri@gmail.com).

Este é um artigo de acesso livre sob licença Creative Commons



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Copyright © 2023, Copyright by Sociedade Brasileira de Física. Printed in Brazil.

## 1. Introdução

As medidas fazem parte do nosso cotidiano. Diversos instrumentos são capazes de fazer as medidas para que tenhamos as dimensões exatas, desde aqueles mais comuns aos alunos e até os mais avançados, geralmente usados em laboratórios e universidades, como a microscopia eletrônica de varredura. De certo modo, tomando-se como referência a capacidade de observação do

ser humano, pode-se dizer que existem dois grandes mundos: aqueles que enxergamos (mundo macroscópico) e aquele que não enxergamos (mundo microscópico). Observa-se que a palavra “microscópico”, neste sentido, está sendo usada de modo mais amplo, englobando não somente a escala micro ( $10^{-6}$  m), mas também outras escalas que não enxergamos. Como exemplificação, nota-se, por exemplo, que as moléculas “grandes”, como as de glicose ou os aminoácidos

dos, que formam nosso DNA, têm cerca de 1 nm ( $10^{-9}$  m) de comprimento; já as moléculas “pequenas”, como a molécula de água ( $H_2O$ ), é da ordem de uns poucos angstroms ( $1 \text{ \AA} = 10^{-10}$  m).

Na história da ciência, não é raro encontrar experimentos que partem de observações macroscópicas para medidas microscópicas e vice-versa. Um grande exemplo da capacidade de o ser humano observar e aproximar esses dois mundos é a medida do raio de curvatura da Terra por Eratóstenes. De forma bem sucinta, o experimento de Eratóstenes tinha como objetivo a obtenção de uma relação de proporcionalidade entre a circunferência da Terra e a distância entre as cidades de Alexandria e Siracusa. Assim, em dois solstícios de verão (anos) consecutivos, ele mediu a sombra de hastes verticais ao meio-dia, em cada cidade. Através de relações trigonométricas para a sombra e a altura das hastes, ele estimou o ângulo de incidência dos raios solares em relação à superfície da Terra na cidade de Siena, encontrando cerca de  $7,2^\circ$ , e, através de relações trigonométricas, estimou a circunferência da Terra em 46.620 km, com cerca de 16% de erro em relação às estimativas atuais [1].

Outro exemplo marcante na história da ciência é o experimento da gota de óleo de Millikan para a determinação da carga elementar. No experimento de Millikan, gotas de óleo eletricamente carregadas são colocadas em uma região de campo elétrico onde estão submetidas essencialmente às forças peso e elétrica. O movimento de gotículas de óleo eletricamente carregadas sujeitas a um campo elétrico e ao campo gravitacional é investigado e as velocidades das gotículas são determinadas por medidas diretas dos tempos de subida e descida no espaço interior da câmara. A carga elementar é então obtida a partir da medida das cargas elétricas de uma grande quantidade de gotículas [2]. Trata-se de um dos mais belos experimentos da física que exemplifica como as medidas macroscópicas podem inferir em resultados microscópicos.

É inegável que a ciência seja o ramo do conhecimento da humanidade que guia para o desenvolvimento de novas tecnologias. Deste modo, a abordagem do ensino-aprendizagem deve estar centrada em despertar nos estudantes de Ensino Médio a curiosidade e instigá-los ao pensamento crítico, mostrando-lhes que os experimentos são ferramentas imprescindíveis para a aquisição do conhecimento. O ensino de ciências, portanto, deve permitir que os estudantes entendam os fenômenos que nos cercam, deixando de lado um processo de mecanização do ensino, que é pautado na memorização e nas “decorebas” de fórmulas, uma vez que “essa mecanização que o ensino de física (e outras ciências) vem sofrendo, de uma maneira geral, tem

mostrado poucos resultados práticos, conforme observado no baixo desempenho dos alunos do Ensino Médio na maioria dos vestibulares pelo país” [3]. Esse tipo de ensino, de caráter mais informativo, se preocupa essencialmente com o cumprimento dos conteúdos ao longo dos três anos do Ensino Médio e deixa de lado o conhecimento prático e socialmente aplicável [4]. Deste modo, é comum que muitos alunos se desintessem pelo ensino de ciências e tampouco queiram seguir carreiras ligadas a ela. Assim, destaca-se que esse sistema informativo (e pouco formativo) está, de certo modo, enraizado em uma educação que não possibilita o desenvolvimento dos conhecimentos teóricos através de práticas experimentais.

Torna-se importante, dessa forma, buscar por “estratégias que permitam abordar os conteúdos teóricos constantes nas ementas do Ensino Médio, utilizando de forma satisfatória os recursos disponíveis para evidenciar o objetivo e aplicação daquela experimentação” [5]. O presente trabalho visa contribuir com um experimento interdisciplinar entre química e física de fácil execução e baixo custo para que os professores possam exemplificar aos alunos como informações microscópicas (como o volume molecular) podem ser extraídas a partir de medições macroscópicas de grandezas, no nosso caso, o comprimento.

## 2. Fundamentos teóricos

Neste presente trabalho, a fundamentação teórica está centrada, inicialmente, no fenômeno de refração. Este é um tema comumente trabalhado no Ensino Médio, sendo, nesta etapa educacional, definido como mudança de velocidade e podendo ocasionar a mudança de direção da luz quando ela passa de um meio para outro. O quociente entre as velocidades da luz no ar (geralmente estipulada como sendo a mesma do vácuo, isto é, aproximadamente igual a 300000 km/s) e em um determinado meio determina o chamado índice de refração ( $n$ ). Assim, os alunos aprendem que os materiais têm diferentes valores para os índices de refração. Todavia, destaca-se que o ensino de refração é muitas vezes pautado em exercícios teóricos, levando o aluno ao sistema de mecanização comentado anteriormente.

Assim, como podemos calcular o índice de refração, por exemplo, dos líquidos, sem a necessidade da medida da velocidade da luz quando ela está em determinado líquido? Partindo-se do preceito teórico de que objetos imersos em líquidos parecem maiores do que realmente são, o índice de refração dos líquidos pode ser obtido facilmente através da divisão do tamanho do objeto imerso (imagem aparente -  $D$ ) pelo tamanho do objeto no ar (tamanho real -  $d$ ) [4]:

**A abordagem do ensino-aprendizagem deve estar centrada em despertar nos estudantes de Ensino Médio a curiosidade e instigá-los ao pensamento crítico, mostrando-lhes que os experimentos são ferramentas imprescindíveis para a aquisição do conhecimento**

$$n = \frac{D}{d}. \quad (1)$$

A Fig. 1 exemplifica o aumento do tamanho aparente quando um cano de PVC é imerso em um líquido:

Dessa forma, surge a seguinte pergunta: será que concentrações diferentes de um soluto podem alterar o tamanho da imagem aparente? Em outras palavras, concentrações diferentes podem alterar o valor do índice de refração? Para responder a esta pergunta, é importante ter em mente que concentrações diferentes de solutos resultam em quantidades diferentes de moléculas no solvente, uma vez que a concentração, expressa por mol/L, implica que 1 mol corresponde ao número de Avogadro, isto é,  $6,02214086 \times 10^{23}$  espécies químicas (átomos ou moléculas).

Considerando um caso particular em que a refração corresponde à mudança da trajetória da luz, espera-se que quantidades diferentes de moléculas também influenciem na mudança da trajetória original dos raios de luz. Assim, concentrações diferentes resultam em valores também diferentes para os índices de refração. Este fato define a chamada refração molar ( $R_m$ ):

$$R_m = \left[ \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right] \times \frac{M}{\rho}, \quad (2)$$

onde  $M$  corresponde à massa molar (no caso da glicose, sendo igual a 180,156 g/mol);  $n$  é o índice de refração e  $\rho$  é a densidade em g/cm<sup>3</sup>. A unidade de  $R_m$  será em cm<sup>3</sup>/mol. Nota-se que a refração molar é diretamente proporcional à massa molar. A Eq. (2) é conhecida como Equação de Lorentz-Lorenz e fornece uma ligação entre uma quantidade microscópica (a polarizabilidade) e uma quantidade macroscópica (o índice de refração). Foi derivada usando eletrostática macroscópica em 1880 por Hendrik Lorentz (1853-1928) e independentemente pelo físico dinamarquês Ludwig Valentin Lorenz, também em 1880.

Além da influência na trajetória devido às diferentes quantidades de moléculas, deve-se ter em mente, ainda, que as moléculas ocupam determinado volume molecular. A interação da luz com as moléculas causa distorções nas nuvens eletrônicas, fato este conhecido por polarizabilidade volumétrica ( $\alpha$ ) e expressa por

$$\alpha = \frac{3R_m}{4\pi N_A}, \quad (3)$$

onde  $N_A$  corresponde à constante de Avogadro ( $6,02214086 \times 10^{23}$  mol<sup>-1</sup>),  $R_m$  já definido na Eq. (2). A unidade da polarizabilidade volumétrica ( $\alpha$ ) é expressa em C<sup>2</sup>.J<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>.

Como o  $R_m$  depende do índice de refração ( $n$ ) do meio onde se encontra a molécula, observa-se que a medida do índice de refração permite determinar a refração molar, a qual é diretamente proporcional à

polarizabilidade da molécula. Destaca-se que o valor de  $\alpha$  (C<sup>2</sup>.J<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>) é similar, em magnitude, ao volume molecular, ou seja,  $\alpha \sim (\text{raio da molécula})^3$  [7]. Deste modo, ao determinar a medida do índice de refração ( $n$ ), pode-se determinar a ordem de grandeza das moléculas de glicose.

A Fig. 2 a seguir exemplifica a correlação entre os fenômenos macroscópicos (aumento aparente da imagem), observada por Barros [6] (2014), e a correlação desse aumento aparente com a massa molar (fenômeno microscópico) ocasionado pela refração molar.

Para este experimento, foi escolhida a glicose, já que ela é uma substância de fácil aquisição, baixo custo e que está presente nos tópicos de biologia e química orgânica do Ensino Médio. Destaca-se, brevemente, que a glicose é o combustível obrigatório para o cérebro, que cumpre muitas funções críticas, incluindo produção de ATP, gerenciamento do estresse oxidativo e síntese de neurotransmissores, neuromoduladores e componentes estruturais [9].

### 3. Metodologia experimental

Os materiais para o experimento em questão são os seguintes: béquer de 250 mL (ou frasco equivalente); balão volumétrico de 100 mL (ou frasco equivalente); cano de PVC de 3/4" (e altura equivalente à do béquer); água destilada; glicose (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) comercial da marca Synth (o custo médio de 250 g de glicose é cerca de 40 reais); e aparelho celular (ou câmera digital).

As soluções de glicose, C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>, de concentrações respectivamente iguais a 0,10 mol/L, 0,40 mol/L e 0,70 mol/L foram preparadas em balões volumétricos de 250,00 mL, a partir do reagente analítico (PA) anidro do açúcar e da água desmineralizada. Assim, utilizando uma balança eletrônica, mediram-se as massas, sendo elas respectivamente iguais a 4,50 g, 18,00 g e 31,50 g. Deste modo, diluiu-se o açúcar com água e transferiu-se para seus respectivos balões, os quais foram completados com água desmineralizada até os traços de aferição. Utilizando um béquer de 250 mL, colou-se um cano de PVC dentro do béquer, preenchendo-o com as soluções. O aparelho celular foi mantido fixo por um pedestal a 20 cm do béquer para registrar fotos para cada experimento (realizado em triplicata) (Fig. 3a). Posteriormente, os diâmetros do cano, dentro ( $D$ ) e fora ( $d$ ) de cada solução, foram determinados utilizando a ferramenta de "setas" do software PowerPoint (Fig. 3b). Vale ressaltar que softwares de tratamento de imagens também podem ser usados para realizar essas medidas, bem como outras concentrações.

### 4. Resultados e discussão

Para determinação dos resultados esperados, a partir da obtenção dos valores dos respectivos índices de refração (Eq. (1)), para cada uma das três concentrações, calcula-se inicialmente a refração molar (Eq. (2))

e, posteriormente, a polarizabilidade (Eq. (3)). Define-se, por fim, que a polarizabilidade corresponde ao raio molecular elevado ao cubo, sendo, portanto, equivalente ao volume molecular. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos com o experimento.

Analisando os dados da Tabela 1, percebe-se que o aumento da concentração implica no aumento dos valores para os índices de refração e, conseqüentemente, no aumento dos valores da refração molar, do raio molecular e do volume molecular, conforme esperado através das Eqs. (1), (2) e (3), uma vez que elas nos mostram que estes parâmetros são, na verdade, grandezas proporcionais entre si. Nota-se, ainda, que os valores obtidos para o volume molecular da glicose têm a mesma ordem de grandeza ( $\sim 10^{-23} \text{ cm}^3$ ) daqueles reportados em literatura [6] para a molécula D-glicose em diferentes condições de temperatura e pressão.

Do ponto de vista pedagógico, os alunos tiveram a oportunidade, ao longo de um ano letivo, de vivenciar a metodologia científica durante a montagem e execução do experimento e nas discussões dos resultados, conforme relatados por alguns: “Achei muito importante para aprender a fazer experimentos passo a passo.” e “É gratificante chegar nos resultados esperados pela teoria.”. Além disso, o experimento facilitou o aprendizado dos conceitos envolvidos: “O projeto possibilitou que eu entendesse melhor os conceitos teóricos”.

## 5. Conclusões

A atividade proposta neste trabalho possibilitou que professores e alunos do Ensino Médio pudessem realizar um experimento interdisciplinar de baixo custo que comprovasse a ordem de grandeza do volume de moléculas de glicose em solução, obtida a partir de medições de comprimento feitas usando fotos digitais e software. O experimento é de fácil execução e permite que os alunos vivenciem o método científico em sala de aula e relacionem conceitos de diferentes disciplinas.

## Agradecimentos

Agradecemos ao Colégio Jandyra, em especial aos mantenedores Maria Cristina de Almeida Rosa Andrade e Prof. Dr. José Geraldo Pena de Andrade (professor aposentado da FT/Unicamp), pela oportunidade de desenvolvermos o presente trabalho com os alunos do Ensino Médio. Agradecemos também ao Prof. Dr. Vitor Rafael Coluci, da Faculdade de Tecnologia da Unicamp (FT/Unicamp), pelas orientações dadas aos alunos ao longo do trabalho. Por fim, agradecemos também aos alunos Sofia Gava, Sophia Salomão Rozenbaum, Benedicto Fagundes Neto, Beatriz Piovani e Sofiah Dumit Gardinal, que participaram do experimento contribuindo ativamente para este artigo.

Recebido em: 6 de Março de 2023

Aceito em: 24 de Julho de 2023

**O experimento é de fácil execução e permite que os alunos vivenciem o método científico em sala de aula e relacionem conceitos de diferentes disciplinas**



Figura 3 - a) Posicionamento da câmera do celular em relação ao béquer; b) cano de PVC imerso em um béquer vazio (imagem da esquerda) e cano de PVC imerso na solução de glicose de 0,4 mol/L (imagem da direita).

Tabela 1: Valores determinados a partir do experimento.

Concentração (mol/L)	Densidade ( $\text{g/cm}^3$ )	Índice de refração (valores médios) $\pm 0,005$	Refração molar ( $\text{cm}^3/\text{mol}$ )	Raio molecular ( $\times 10^{-8} \text{ cm}$ )	Volume molecular ( <i>raio molecular</i> ) <sup>3</sup> ( $\times 10^{-23} \text{ cm}^3$ )
0,1	1,005	1,315	35,05	2,40	1,38
0,4	1,027	1,332	35,98	2,42	1,42
0,7	1,047	1,342	36,26	2,43	1,43

## Referências

- [1] L.O.A. Azevedo, O.S. Ribeiro, N.C. Costa, E.H.C.P. Sinnecker, M. Gandelman, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **44**, e20210354 (2022). doi
- [2] H. Macet, C.L. Levada, I.J. Lautenschleguer, *Caderno de Física da UEFS* **9**, 85 (2011). <https://periodicos.uefs.br/index.php/cadfis/issue/archive>.
- [3] B.A. Santana, F.A. de Oliveira Cruz, *Física na Escola* **9**(1), 40 (2008). <http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol09-Num1/indice-refracao1.pdf>.
- [4] Y.A. Meyer, J.G. de Andrade, E.L. de Souza, B.F. Giacon, E.F. Moraes, E. Gava, e cols., *Physicae Organum* **2**, 24 (2019). <https://www.periodicos.unb.br/index.php/physicae/article/view/27965/27373>.
- [5] M.C.C. Oliveira, R.C.F. Barbosa, D.C. Flores, *Química Nova na Escola* **4**, 401 (2021). doi
- [6] E.L. Barros, *Refração e de Ensino Óptica*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em [http://pef.if.ufrj.br/producao\\_academica/dissertacoes/2014\\_Eric\\_Lopes/dissertacao\\_Eric\\_Lopes.pdf](http://pef.if.ufrj.br/producao_academica/dissertacoes/2014_Eric_Lopes/dissertacao_Eric_Lopes.pdf).
- [7] P. Atkins, J. De Paula, *Physical Chemistry* (W.H. Freeman and Company, New York, 2006), 8ª ed., 1085 p.
- [8] J.C. Seitz, A.S. Halla, G.W. Rhett, *The Journal of Chemical Thermodynamics* **128**, 372 (2019). doi
- [9] E. Kassi, A.G. Papavassiliou, *Journal of Cellular and Molecular Medicine* **12**, 1194 (2008). doi